

В. І. БОБРОВСЬКИЙ, Є. Б. ДЕМЧЕНКО (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАСУВУ ТА РОЗПУСКУ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ

Розроблено імітаційну модель процесу насуву та розпуску составів на сортувальній гірці. Запропонована модель передбачає спільне імітування режиму руху маневрового составу та процесу скочування його відчепів. Це дозволить комплексно оцінювати якість сортувального процесу, що необхідно для визначення раціональних режимів розформування составів.

Ключові слова: сортувальна гірка, режим розформування составів, гірковий локомотив

Разработана имитационная модель процесса надвига и роспуска составов на сортировочной горке. Предложенная модель предусматривает совместное имитирование режима движения маневрового состава и процесса скатывания его отцепов. Это позволит комплексно оценивать качество сортировочного процесса, что необходимо для определения рациональных режимов расформирования составов.

Ключевые слова: сортировочная горка, режим расформирования составов, горочный локомотив

The simulation model of pushing and breaking-up process at the hump yard was developed. The proposed model provides co-simulation of train motion regime and cut rolling down. It allows to evaluate comprehensively the quality of classification process, which is necessary for determination of efficient mode of breaking-up process.

Key words: hump yard, breaking-up mode, hump engine

В сучасних умовах одним з основних напрямків підвищення ефективності функціонування сортувальних станцій є впровадження ресурсозберігаючих технологій переробки вагонопотоків. При цьому вирішення проблеми зниження енерговитрат в підсистемі розформування вимагає комплексного розгляду процесів насуву та розпуску составів. Проте, як показав аналіз [1], в теперішній час задачі удосконалення процесу насуву вирішуються окремо від розпуску составів. Так, існуючі моделі насуву [2, 3] дають можливість встановити залежність витрат палива гірковими локомотивами від швидкості розпуску, конструкції поздовжнього профілю сортувальної гірки та параметрів составу, що розформується. В той же час, не враховуючи необхідність системному підходу до підвищення ефективності сортувального процесу, вказані моделі не дозволяють оцінювати вплив обраного режиму розформування составу на умови інтервального та прицільного гальмування його відчепів. Крім того, наявні моделі насуву побудовані з використанням спрощеного алгоритму керування гірковим локомотивом, що не дозволяє детально імітувати процес руху маневрового составу.

З метою вирішення вказаної задачі було розроблено модель процесу насуву та розпуску составів на сортувальній гірці. Вказана модель враховує особливості роботи гіркових тепловозів і дає можливість визначати точну початкову швидкість відчепів в моменти відриву від сос-

таву на вершині гірки (ВГ), що необхідно для подальшого моделювання процесу їх скочування. Крім того, розроблена модель насуву та розпуску дозволяє визначати витрати палива гірковим локомотивом, величина яких необхідна для визначення раціональних режимів розформування составів.

В моделі состав, що насувається на гірку, представляється сукупністю відчепів з певними параметрами (кількість вагонів, їх тип, довжина, маса та основний питомий опір руху) і розглядається як нерозтяжний гнучкий стержень з рівномірно розподіленою по довжині масою. Така модель составу дозволяє найбільш повно врахувати зміни умов його руху при переходах з одного елемента профілю на інший та після відриву від составу чергового відчепу.

Для вирішення задачі моделювання насуву та розпуску достатньо розглядати керований поступальний рух маневрового составу, тому при його імітуванні необхідно враховувати лише зовнішні сили, що співпадають з напрямком руху або протилежні йому. У відповідності з цим враховувались сили: F_k – дотична сила тяги локомотива; W_k – сила опору руху составу; B_T – гальмова сила локомотива. В рівняннях руху маневрового составу розглядаються відповідні питомі сили f_k , w_k , b_T ; рівнодіюча вказаних сил f_p залежить від режиму роботи гіркового локомотива та дорівнює $f_p = f_k \pm w_k$ в режимі тяги, $f_p = \pm w_k$ – в режимі вибігу та $f_p = \pm w_k - b_T$ – в режимі гальмування.

В роботі розроблено методику розрахунку сил, що діють на маневровий состав в процесі насуву та розпуску. Як показав аналіз [1], загальноприйнята методика визначення дотичної сили тяги локомотива f_k , запропонована в ПТР [4], не відповідає реальним умовам виконання маневрової роботи на сортувальній гірці. У зв'язку з цим, дотична сили тяги локомотива f_k в розробленій моделі визначається за частковими (проміжними) тяговими характеристиками, які можуть бути реалізовані за умовами зчеплення, і далі по наступним проміжним характеристикам аж до виходу на автоматичну (зовнішню) характеристику [5].

Питома сила опору руху w_k визначається як

$$w_k = w'_0 + w''_0 + w_{св} + w_{ск} + w_i + w_{зр},$$

де w'_0 – основний питомий опір руху локомотива;

w''_0 – основний питомий опір руху вагонів составу;

$w_{св}$ – додатковий питомий опір від середовища та вітру;

$w_{ск}$ – додатковий питомий опір від стрілок та кривих;

w_i – додатковий питомий опір від ухилу;

$w_{зр}$ – додатковий питомий опір при зрушенні з місця.

Основний питомий опір руху локомотива w'_0 та додатковий питомий опір при зрушенні составу з місця $w_{зр}$ визначаються за методикою ПТР [4]. Основний питомий опір руху вагонів составу w''_0 розраховується як середньозважена величина основного питомого опору руху його відчепів і корегується після відриву від составу чергового відчепу; при цьому величина w''_{0i} для кожного вагону входить в структуру моделі составу. Величини додаткових опорів руху від середовища та вітру $w_{св}$, стрілок та кривих $w_{ск}$ розраховуються за методикою [6].

Додатковий питомий опір від ухилу w_i приймається чисельно рівним середньому ухилу i , на якому знаходиться маневровий состав; при цьому на підйомі значення i додатне ($i > 0$), а на спуску – від'ємне ($i < 0$). Середній ухил i , на якому знаходиться состав, коли його голова перебуває в точці S_j , визначається за різницею відміток голови $h(S_j)$ та хвоста $h(S_j - l_c)$ составу

$$i(S_j) = \frac{h(S_j) - h(S_j - l_c)}{l_c},$$

де l_c – довжина маневрового составу, м.

У зв'язку з тим, що в процесі розформуван-

ня на сортувальній гірці автоматичні гальма составу, як правило, не включаються, зменшення його швидкості здійснюється лише за рахунок гальмівної сили маневрового локомотива, питоме значення b_T якої розраховується за наступною формулою [4]:

$$b_T = 1000 \theta_p \varphi_{кр}, \quad (1)$$

де θ_p – розрахунковий гальмівний коефіцієнт;

$\varphi_{кр}$ – розрахунковий коефіцієнт тертя гальмівних колодок.

Значення величин θ_p та $\varphi_{кр}$ визначаються за допомогою методики [7] в залежності від кількості гальмівних осей локомотива, а у випадках включення гальм в составі – і від кількості осей вагонів, в яких задіяні автогальма. При цьому слід зауважити, що гальмівна сила b_T з моменту переведення крана машиніста в гальмове положення зростає поступово до свого максимального значення. Крім того, при моделюванні гальмування маневрового составу слід враховувати час, потрібний на реакцію машиніста. В цьому зв'язку, розрахунковий гальмівний коефіцієнт θ_p в (1) розглядається як функція від тривалості гальмування $t_{гал}$, значення якої приймається згідно з [7].

Особливістю моделювання розпуску составу є зміна його параметрів при відриві відчепів. В цьому зв'язку необхідно на кожному кроці Δt контролювати можливість відриву чергового відчепу. Після фіксування відриву відчепу в моделі виконується відповідне зменшення довжини та маси составу; при цьому змінюється координата його першої осі S_j та перераховується основний питомий опір w''_0 . Це, в свою чергу, викликає відповідні зміни в режимі роботи гіркового локомотива, що спрямовані на підтримання заданої швидкості розпуску v_0 .

Рух составу в моделі описується за допомогою диференційного рівняння другого порядку $S'' = f(t, S, S')$, в якому незалежною змінною є час t :

$$S'' = \frac{d^2 S}{dt^2} = \frac{g}{1 + \gamma} f_p 10^{-3} \quad (2)$$

де $\frac{g}{1 + \gamma}$ – прискорення сили тяжіння з урахуванням інерції мас, що обертаються.

Використання рівняння руху (2) дозволяє виконувати сумісне моделювання процесів розпуску составу та скочування його відчепів.

Відомо, що рівняння (2) має єдиний розв'язок, якщо його права частина $f(S, V)$ неперервна та диференційована. Проте характер зміни сили f_p у даному виразі не завжди відповідає вказаній умові. Так, в моменти переключення позицій контролера може відбуватися стрибкоподібна зміна дотичної сили тяги f_k . Гальмівна сила b_t в процесі зменшення швидкості составу також змінюється нерівномірно. Опір руху в кривих являє собою ступінчасту функцію, розриви якої мають місце в точках заняття та звільнення маневровим составом криволінійних ділянок колії. Крім того, в момент відриву на ВГ чергового відчепу змінюються параметри составу. Тому в моделі було прийнято, що в межах кроку інтегрування Δt режим руху маневрового составу залишається постійним; з цією метою обраний достатньо малий крок Δt ($\Delta t = 1$ с). В режимі тяги в межах Δt позиція контролера не змінюється; при цьому в кінці кроку здійснюється аналіз швидкості составу і при необхідності корегується режим роботи локомотива та моделювання повторюється.

Аналогічно, гальмівна сила b_t на кожному кроці Δt приймається постійною і, якщо швидкість составу в кінці кроку стала нижче допустимої, то, в залежності від умов руху, відбувається перехід до режиму тяги або вибігу.

Крім того, в межах кроку інтегрування Δt ні голова маневрового составу, ні його хвіст не повинні переходити границі початку або кінця кривої. Якщо на окремому кроці ця умова не виконується, то цей крок розділяється на окремі частини з відомою довжиною $\Delta S_1, \Delta S_2, \dots, \Delta S_n$. При цьому на кроках $1 \div (n-1)$ моделювання переміщення составу виконується з використанням диференційного рівняння руху першого порядку $V' = f(S, V)$ з незалежною змінною S :

$$V' = \frac{dV}{dS} = \frac{g}{1+\gamma} \cdot \frac{f_p}{V}, \quad V > 0 \quad (3)$$

На останньому n -му кроці моделювання переміщення составу виконується за допомогою рівняння (2) на час $\Delta t' = \Delta t - \Delta t^*$, що залишився до кінця початкового кроку Δt . Аналогічний алгоритм використовується і для моделювання руху составу при відриві від нього на ВГ чергового відчепу.

Для забезпечення неперервності функцій $i(S)$ та $f_k(V)$ в моделі використовувалась методика сплайн-апроксимації поздовжнього профілю колії [8] та тягових характеристик локомотива. Інтегрування диференційних рівнянь руху (2) та (3) виконувалось за методом Рунге-Кутта IV порядку [9].

Витрати палива маневровим тепловозом G в процесі насуву та розпуску составу визначаються як

$$G = \frac{\Delta t}{60} \sum_{j=1}^n G_j,$$

де G_j – витрати палива на кроці Δt , кг/хв.

Величина витрат палива G_j в режимі тяги визначається за навантажувальними характеристиками в залежності від ефективної потужності N_e та частоти обертання колінчастого валу дизеля n_d при роботі локомотива на окремій позиції контролера n_k . Відомо, що регулятори тепловозів забезпечують сталі значення частоти n_d для кожної позиції контролера [10].

Величина N_e може бути розрахована за наступною формулою [11]

$$N_e = \frac{N_k}{(1-\beta)\eta},$$

де β – частка потужності двигуна, що витрачається на привід допоміжного обладнання локомотива;

η – к. к. д. тягової передачі;

N_k – дотична потужність локомотива, що визначається як [12]

$$N_k = \frac{F_k v}{270}.$$

Значення частоти n_d для окремої позиції контролера та величин β, η приймаються згідно з паспортними характеристиками локомотива. Криві витрат палива $G = f(N_e)$ для кожної позиції контролера машиніста побудовані на основі паспортних навантажувальних характеристик маневрового тепловоза [14] (рис. 1, а) та представлені відповідними регресійними моделями (рис. 1, б).

Витрати палива в режимі вибігу або гальмування залежать від частоти обертання колінчастого валу дизеля на холостому ході та приймаються як стала величина згідно з даними, наведеними в [4, табл. 29].

Таблиця 1

Режими роботи гіркового локомотива

Режим	Положення органів керування		Керовані параметри	
	n_k	n_t	F_k	B_t
Тяга	1	2	min	0
	8	2	max	0
Вибіг	0	2	0	0
Гальмування	0	3	0	min
	0	6	0	max

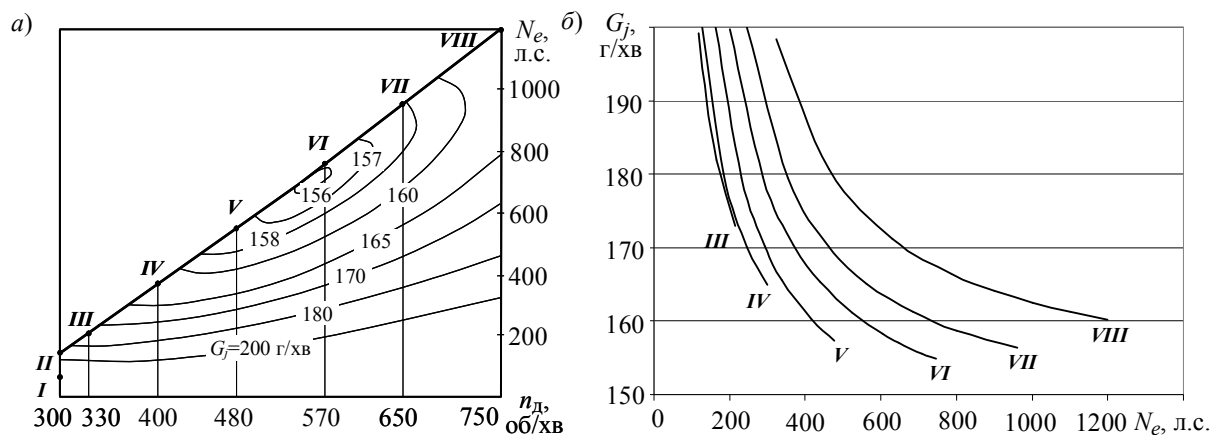


Рис. 1. Витрати палива тепловозом ТЭМ2 в режимі тяги:
 а) паспортна навантажувальна характеристика; б) регресійні моделі витрат палива

При моделюванні состав, що розформовується, розглядається як керована система, що функціонує в умовах дії зовнішніх та внутрішніх факторів, а також керуючих впливів [13]. Керований рух составу визначається режимом роботи гіркового локомотива. При цьому основними керованими параметрами є дотична сила тяги F_k та гальмівна сила B_T маневрового тепловоза, що залежать від встановленої позиції контролера n_k та положення крана допоміжного гальма (ум. № 254) n_T (див. табл. 1).

В процесі моделювання необхідно обрати таке керування гірковим локомотивом, щоб швидкість составу в момент завершення насуву t_{zn} дорівнювала потрібній швидкості розпуску v_0 , а подальша фазова траєкторія $V(t)$ для всіх $t_{zn} \leq t \leq t_k$ відповідає встановленому режиму розформування, де t_k – кінцевий момент руху составу. Початковий момент часу t_0 приймається рівним 0; в якості кінцевого моменту t_k розглядається момент відриву від локомотива останнього відчепа.

В роботі було розроблено алгоритм керування гірковим тепловозом, який, окрім вимог з безпечного виконання маневрової роботи та експлуатації локомотивів, враховує й біхевіоральні фактори, що пов'язані з керуючими діями машиніста. Даний алгоритм забезпечує плавний розгін та подальший рух составу з швидкістю, близькою до встановленої v_3 . При цьому фактична швидкість $v_{доп}$ на кожному кроці Δt може відхилитись від заданої швидкості руху $v_3(t)$ на величину похибки реалізації δ : $v_{доп} \in [v_{min}; v_{max}]$, $v_{min} = v_3 - \delta$, $v_{max} = v_3 + \delta$.

В початковий момент часу t_0 для зрушення составу з місця встановлюється режим тяги, при цьому контролер машиніста переміщується на першу позицію ($n_k = 1$). Подальший набір позицій виконується з мінімально допустимою затримкою контролера в кожному положенні

(3 с). У випадку, коли состав не вдається зрушити з місця протягом 10 с [14], то констатується необхідність попереднього його осаджування, та моделювання насуву припиняється.

При керуванні локомотивом машиніст, покладаючись на власний досвід, прогнозує характер руху маневрового составу та заздалегідь вживає заходи щодо дотримання встановленого режиму насуву. Так, при наближенні швидкості руху до встановленої швидкості розпуску машиніст забезпечує плавний вихід на неї, заздалегідь зменшуючи силу тяги локомотива. Аналогічно здійснюються й зниження швидкості руху, при якому машиніст, беручи до уваги інерційність систем локомотива та оцінюючи запас кінетичної енергії составу, по чергово застосовує режими гальмування та вибігу.

Враховуючи вказані обставини в моделі було встановлено зону регулювання швидкості $[v_{доп} - 0,5; v_{доп}]$, при досягненні якої процес розгону з максимальним темпом переводу контролера завершується, і модель переходить в режим прогнозного керування рухом составу.

В даному режимі на кожному кроці моделювання Δt , в залежності від величини питомого опору руху w_k та режиму роботи локомотива на попередньому кроці, виконується пошук такої комбінації керуючих впливів (n_k , n_T), яка б на протязі періоду прогнозування $t_{пр}$ забезпечувала допустимий режим руху составу. При цьому слід зауважити, що робота маневрового тепловоза в режимі постійних розгонів-сповільнень призводить до підвищення витрат палива [15] та негативних динамічних реакцій составу [16]. У зв'язку з цим необхідно обмежити частоту зміни режиму роботи гіркового локомотива, для чого в моделі величина періоду $t_{пр}$ приймається рівною $t_{пр} = 2\Delta t = 2$ с. Нижче наведений алгоритм прогнозного керування

рухом составу для різних режимів роботи локомотива.

В режимі тяги виконується пошук максимально можливої позиції контролера машиніста n_k , при якій би в межах періоду $t_{пр}$ забезпечувалась допустима швидкість руху $v_{доп}$. Причому, перевід контролера в бік скидання навантаження дозволяється виконувати одразу на декілька позицій та до завершення мінімально допустимої витримки часу (3 с). Якщо така позиція не знайдена, то область пошуку допустимого керування гірковим локомотивом на даному кроці переміщується на режим вибігу.

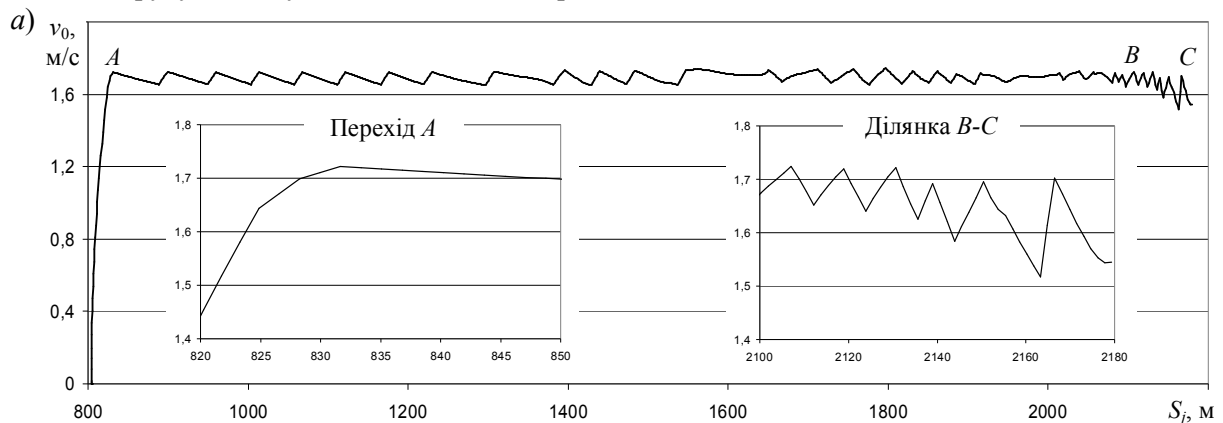
В режимі вибігу за допомогою (2) виконується розрахунок швидкості v_{j+2} , з якою рухатиметься состав в кінці поточного періоду прогнозування $t_{пр}$. Якщо швидкість v_{j+2} перевищить максимально допустиму ($v_{j+2} > v_{max}$), то для моделювання руху составу в межах даного періоду $t_{пр}$ встановлюється режим гальмування.

У випадку, коли в режимі вибігу прогнозована швидкість v_{j+2} опуститься нижче мінімально допустимої ($v_{j+2} < v_{min}$), необхідно перевірити, чи не виконувався на поточному кроці t_j пошук допустимого керування в режимі тяги. Якщо такий пошук мав місце, то з міркувань безпеки виконання маневрової роботи для моделювання руху составу в межах даного періоду

встановлюється режим вибігу. В протилежному випадку відбувається перехід до режиму тяги, причому набір навантаження обов'язково виконується починаючи з першої позиції ($n_k = 1$).

Аналогічно, в режимі гальмування визначається швидкість v_{j+2} в кінці поточного періоду прогнозування $t_{пр}$. Якщо дана швидкість виявиться нижчою за мінімально допустиму ($v_{j+2} < v_{min}$), а состав знаходиться на прискорюючому ухилі ($w_k < 0$), то необхідно перевірити, чи не виконувався на поточному кроці t_j пошук допустимого керування в режимі вибігу. У випадку, коли такий пошук мав місце, для моделювання руху в межах даного періоду $t_{пр}$ встановлюється режим гальмування. В протилежному випадку виконується перехід до режиму вибігу. Інакше, коли $v_{j+2} < v_{min}$ та $w_k \geq 0$, для моделювання приймається режим тяги ($n_k = 1$).

Розроблена модель дозволяє імітувати різноманітні режими розформування составів. Для прикладу на рис. 2 наведено результати моделювання насуву та розпуску составу масою 3869 т гірковим локомотивом ТЭМ2. При цьому розглядався режим, в якому розгін составу здійснювався до встановленої швидкості розпуску $v_0 = 1,7$ м/с, після чого його розформування виконувалось з постійною швидкістю.



б)

$S_j, м$	$V, м/с$	$t, с$	Реж	$R_m, ткм$	$R_c, ткм$	$R_t, ткм$	E/G
804.0	0.0000	0.0	П1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
804.0	0.0000	1.0	П1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00333
804.0	0.0000	2.0	П1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00667
804.0	0.0000	3.0	П1	0.00000	0.00000	0.00000	0.01000
804.0	0.0055	4.0	П2	0.00003	0.00001	0.00000	0.01317
804.0	0.0108	5.0	П2	0.00011	0.00004	0.00000	0.01633
...							
1407.33	1.6970	376.0	П3	5.39102	2.40666	0.00000	1.11804
Состав после отрыва отцепы 1: $s_j=1392.71$ $L=789.38$ $Q=3827.00$ $os=224$							
1394.40	1.6926	377.0	П3	5.40268	2.41345	0.00000	1.12111
...							
1405.70	1.5448	832.0	П1	9.29912	4.04906	0.00000	2.53835
Состав после отрыва отцепы 35: $s_j=1391.78$ $L=16.45$ $Q=0.00$ $os=0$							

Рис. 2. Результати моделювання насуву та розпуску составу:
а) графік швидкості составу; б) протокол роботи моделі

Як видно з рис. 2, а, розроблений алгоритм моделювання насуву та розпуску забезпечує плавний розгін составу та подальший його рух зі швидкістю v_{ϕ} , близькою до встановленої швидкості розпуску v_0 ($v_{\phi} \in [1,52; 1,74]$). Слід зауважити, що на заключному етапі розформування (рис 2, а, ділянка В-С), коли довжина составу не перевищує 10 вагонів, режим його руху різко змінюється. Ці зміни спричинені зменшенням маси составу в кінці розпуску, що викликає завищену інтенсивність розгону навіть на перших позиціях контролера.

Розроблена модель насуву та розпуску дозволяє детально імітувати режим розформування составу на сортувальній гірці та визначати пов'язані з цим витрати палива гірковим локомотивом. При цьому структура побудованої моделі передбачає її інтеграцію в існуючу модель скочування відцепів [17] для створення об'єднаної моделі розформування составів на основі системного підходу. Така модель дозволить комплексно оцінювати якість сортувального процесу та може бути використана в системі підтримки прийняття рішень щодо визначення ефективних режимів функціонування сортувальних комплексів станцій в умовах змінної інтенсивності вхідного потоку поїздів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бобровский, В. И. Совершенствование имитационной модели процесса надвига и роспуска составов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, Е. Б. Демченко // Зб. наук. праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень». – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2012. – Вип. 3. – С. 5-9.
2. Огар, О. М. Науковий підхід до визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок [Текст] / О. М. Огар // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2009. - № 18. – С. 9-16.
3. Овчинников, В. М. Сокращение расхода дизельного топлива на маневрах [Текст] / В. М. Овчинников, С. А. Пожидаев, Н. Г. Швец, В. В. Скреженевский // Зб. наук. праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень». – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – Вип. 1. – С. 62-70.
4. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. - 287 с.
5. Назаров, Л. С. Повышение эффективности маневровой работы [Текст] / Л. С. Назаров, С. Л. Назаров // Железнодорожный транспорт. – 2001. – №8. – С. 56-57.
6. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207-89. – М.: Транспорт, 1992. – 104 с.
7. Тяговые расчеты [Текст]: справочник / Под ред. П. Т. Гребенюка. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
8. Бобровский, В. И. Представление продольного профиля сортировочных горок в АСУ расформированием составов // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 1, 2. – С. 19-25.
9. Бобровский, В. И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 6. – С. 34-39.
10. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст] : підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / Б. Є. Боднар, Є. Г. Нечаєв, Д. В. Бобирь / Під ред. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2010. – 358 с.
11. Теория локомотивной тяги [Текст] : учебник для вузов ж.-д. транспорта / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель / Под ред. В. Д. Кузьмича. – М.: Маршрут, 2005. – 448 с.
12. Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам [Текст] / Под ред. А. И. Тищенко. - М.: Транспорт, 1976. - Т. I. - 432 с.
13. Бобровский, В. И. Имитационная модель развязки линий в железнодорожном узле // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. праць – Вип. 38. – Харків: ХарДАЗТ, 1999. – С. 35-42.
14. Тепловозы ТЭМ1 и ТЭМ2 [Текст]: Изд. 2-е, испр. и доп. / Под ред. Е. Ф. Сдобникова. – М.: Транспорт, 1978. – 279 с.
15. Механизация и автоматизация формирования поездов [Текст] / Ю. А. Муха, В. А. Король, Н. М. Иванков и др. / Под общ. ред. Ю. А. Мухи. – К.: Техніка, 1987. – 136 с.
16. Бурченков, В. В. Исследование ускорений, развиваемых локомотивами в процессе роспуска состава [Текст] / В. В. Бурченков // Теоретические и экспериментальные исследования систем автоматизации процесса расформирования составов на сортировочных горках: Труды ВНИИЖТ. - М.: Транспорт, 1983. – вып. 661. – С. 81-91.
17. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] : Монография / под. ред. В. И. Бобровского – Д.: Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с.

Надійшла до редколегії 27.11.2012.

Прийнята до друку 28.11.2012.